



DEVELOPMENT OF DISCRETE POWER SUPPLY WITH CHARGE PUMP METHOD FOR HIGH POWERED SONAR SYSTEM

RANCANG BANGUN CATU DAYA DISKRIT DENGAN METODE CHARGE PUMP UNTUK SISTEM SONAR BERDAYA TINGGI

Kristian Ismail^{a,*}, Syamsu Ismail^b

^a Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI

Kompleks LIPI Jl Sangkuriang, Gd 20, Lt 2, Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia

^b Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi - LIPI

Kompleks LIPI Jl Sangkuriang, Gd 20, Lt 4, Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia

Received 30 April 2012; received in revised form 6 July 2012; accepted 9 July 2012

Published online 31 July 2012

Abstract

Power supply is one of the electronic devices that can provide electric energy for electronic systems or other systems. There are several types of power supplies that can be applied depend on the requirement and functions. One example is the use of power supply for sonar systems. Sonar system is a device which can be used to detect a target under water. The sonar system is an electronic circuit that requires a power supply with specific characteristics when the sonar functions as a transmitter and a receiver in the specific span time (when on) and the specific lag time (when off). This paper discusses the design of power supply for high-powered sonar systems with discrete methods in which high power supply is only applied when the acoustic waves radiated under water. Charge pump was used to get the appropriate output voltage from lower input voltage. Charge pump utilized a combination of series and parallel connections of capacitors. The working mode of this power supply used the lag time as the calculation of time to charge charge pump capacitors in parallel while the span time was used for the calculation of discharging the charge pump capacitors in series.

Key words: power supply, charge pump, discrete method.

Abstrak

Catu daya adalah salah satu perangkat elektronika yang dapat menyediakan energi listrik untuk sistem elektronika atau sistem lainnya. Terdapat beberapa jenis catu daya yang dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya, salah satu contohnya adalah penggunaan catu daya untuk sistem sonar. Sistem sonar adalah alat pendeteksi keberadaan target di bawah air, sistem tersebut berupa rangkaian elektronika yang memerlukan catu daya dengan karakteristik yang spesifik. Catu daya dibutuhkan pada saat sonar sebagai pemancar dan sebagai penerima dalam rentang waktu (saat on) dan jeda waktu (saat off) yang spesifik. Untuk memenuhi karakteristik dan spesifikasi tersebut, maka digunakan catu daya diskrit yang menggunakan metode charge pump untuk mengumpulkan energi listriknya. Dalam tulisan ini dibahas tentang rancang bangun catu daya yang digunakan untuk menyediakan energi listrik bagi sistem sonar berdaya tinggi dengan metoda diskrit yaitu pengaktifan catu daya tinggi tidak kontinyu melainkan hanya pada saat gelombang akustik diradiasikan di bawah air. Metoda pengumpulan energi ke komponen pengubah tegangan menggunakan charge pump. Charge pump pada catu daya yang dikembangkan ini memanfaatkan kombinasi hubungan seri dan paralel kapasitor. Cara kerja catu daya ini menggunakan jeda waktu sebagai perhitungan waktu untuk pengisian kapasitor charge pump secara paralel sedangkan rentang waktu digunakan untuk perhitungan pengosongan kapasitor charge pump secara seri.

Kata kunci: catu daya, charge pump, metode diskrit.

I. PENDAHULUAN

Negara Kesatuan Republik Indonesia terdiri dari sekitar 17 ribu pulau dengan dua per tiga luas wilayahnya berupa lautan. Sistem

komunikasi saat ini umumnya menggunakan media fisik seperti kabel tembaga, serat optik, dan gelombang radio. Populasi pengguna gelombang radio sudah demikian padat sehingga pemanfaatan medium lain seperti air akan mengurangi kepadatan pengguna frekuensi radio. Oleh karena itu, teknologi elektronika bawah air

* Corresponding Author. Tel: +62-22-2503055

E-mail: ksansan@yahoo.com

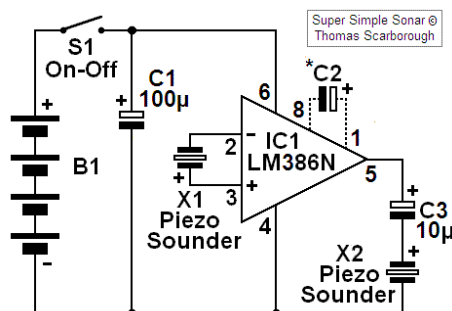
untuk beberapa kepentingan seperti sistem komunikasi, sistem sonar, sistem pengamanan, eksplorasi kekayaan bawah air, dan kepentingan lainnya merupakan suatu kebutuhan yang tidak dapat diabaikan [1].

Sonar adalah sebuah piranti untuk mengamati (mendeteksi dan menyidik) keberadaan dan lokasi benda di bawah permukaan air dengan menggunakan gelombang suara yang dikirim dari peranti dan dipantulkan kembali oleh benda (objek) yang diamati [4]. Sinyal akustik untuk sistem sonar berpropagasi di dalam suatu medium (air) dengan cara menekan dan menarik partikel air [2]. Sumber energi listrik untuk sonar tersebut berasal dari sebuah catu daya. Catu daya sonar pada saat ini menggunakan catu daya kontinyu [3], artinya ketika catu daya tidak melayani beban, tegangan tetap tersedia walaupun arus tidak mengalir. Kondisi tersebut tidak menambah akumulasi daya keluaran tetapi menambah berat dan fisik catu daya. Ketika sistem sonar diperlukan untuk kebutuhan militer, sistem catu daya sonar kontinyu sulit untuk diterapkan karena sistem tersebut tidak menyediakan sistem yang kompak dan mudah dibawa.

Perancangan catu daya diskrit menjadi lebih ringan karena menggunakan kapasitor sebagai pengonversi tegangan (pada catu daya kontinyu menggunakan trafo). Namun pada perancangan catu daya diskrit terdapat kerumitan dalam menentukan waktu (*timing*) kapan melayani beban dan berapa lama waktu untuk pengisian ulang. Tujuan dari tulisan ini adalah membuat catu daya untuk sistem sonar yang bekerja secara diskrit (dalam interval waktu tertentu) dimana akan dilakukan proses perhitungan daya untuk waktu pengosongan dan waktu pengisian pada catu daya sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

II. CATU DAYA UNTUK SONAR

Catu daya adalah salah satu perangkat elektronika yang dapat menyediakan energi listrik untuk sistem elektronika atau sistem



Gambar 1. Catu daya sonar.

lainnya. Gambar 1 merupakan contoh dari catu daya sonar. Catu daya jenis diskrit ditandai dengan penggunaan piranti semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar. Catu daya sonar membutuhkan daya yang besar untuk mengirimkan gelombang suara di bawah air [3]. Dalam perancangan catu daya diskrit beberapa hal perlu diperhatikan yaitu besar beban daya yang dilayani, frekuensi kerja dan rentang tegangan yang dibutuhkan. Untuk daya dan tegangan catu daya sonar dapat dilihat pada spesifikasi *transducer* sedangkan untuk frekuensi kerja catu daya didapat dari waktu *on* dan waktu *off* sistem sonar.

III. METODOLOGI

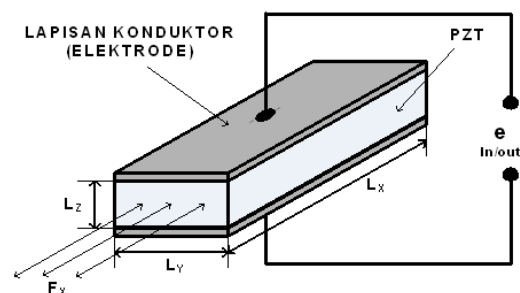
Pada perencanaan ini, metodologi dibagi menjadi beberapa tahap yaitu; pertama adalah identifikasi permintaan sistem, dimana pada tahap ini diidentifikasi karakteristik beban, media komunikasi, dan jarak komunikasi.

Selanjutnya adalah tahap perhitungan sumber daya dimana pada tahap ini dilakukan perhitungan sumber daya asal dan sumber daya yang akan diinputkan ke sistem. Setelah itu dilanjutkan dengan tahap perhitungan kapasitor, dimana dilakukan perhitungan pengisian kapasitor yang dihubungkan secara paralel dan perhitungan pengosongan kapasitor yang dihubungkan secara seri.

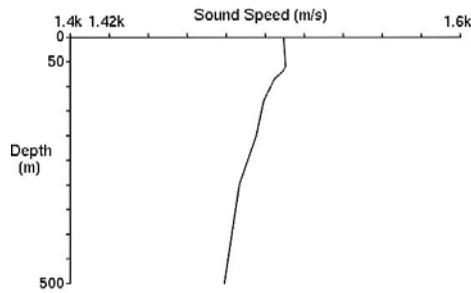
Tahap yang paling akhir adalah perencanaan *charge pump*, pada tahap ini penentuan hubungan dan jumlah kapasitor untuk *charge pump*. Perencanaan rangkaian pembangkit pulsa, pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk mendapatkan pulsa sebagai penyulut hubungan kapasitor. Pulsa yang dihasilkan akan dijadikan sebagai *timing* untuk hubungan seri dan paralel pada kapasitor *charge pump*.

A. Permintaan Sistem

Pada catu daya untuk sistem sonar perlu diperhatikan kebutuhan sistem seperti karakteristik pembebanan atau media dan jarak komunikasi. *Transducer* sebagai komponen



Gambar 2. Konstruksi sebuah transduser [6].



Gambar 3. Grafik kecepatan transmisi pada air laut.

pemancar (Gambar 2) mempunyai karakteristik pembebanan sebagai berikut:

- Resistansi transducer 100 Ohm
- Tegangan kerja transducer tersebut berkisar antara 1.000 V sampai dengan 1.500 V
- Pembebanan transducer terhadap catu daya sebesar 10 kW selama 10 ms.

Catu daya yang direncanakan adalah untuk sistem sonar dengan kedalaman antara 100 meter sampai dengan 500 meter, kadar garam 10 %, dan jarak komunikasi pada perencanaan catu daya adalah 10 km.

Dari beberapa permintaan sistem di atas dapat dirancang waktu pengisian dan pengosongan kapasitor *charge pump* pada catu daya. Dimana waktu minimal pengosongan kapasitor adalah 10 milidetik, didapat dari waktu pembebanan *transducer*. Sedangkan waktu pengisian kapasitor didapat dengan melihat grafik kecepatan transmisi pada air laut di kedalaman 100 m sampai dengan 500 m (Gambar 3). Dari grafik didapat bahwa kecepatan transmisi adalah 1500 meter/detik [5]. Waktu pengisian kapasitor dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$T_{on} = 10 \text{ km} / 1.500 \text{ m} = 6,7 \text{ detik}$$

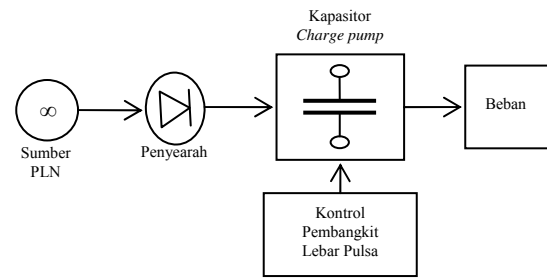
Dimana T_{on} adalah waktu pengisian, 10 km merupakan jarak komunikasi, dan 1500 m adalah kecepatan transmisi perdetik.

B. Blok Diagram Sistem

Gambar 4 menunjukkan blok diagram dari sistem yang dirancang. Pada blok diagram tersebut terlihat sumber daya utama adalah dari jala-jala listrik PLN. Sumber utama tersebut disearahkan dengan menggunakan penyearah satu fasa gelombang penuh. Setelah didapat tegangan DC maka tegangan tersebut akan diregulasi oleh kapasitor *charge pump*. Kapasitor tersebut dikontrol untuk menentukan kapan kapasitor diisi dan kapan kapasitor tersebut melayani beban.

C. Perhitungan Sumber Daya

Pada prinsipnya, sumber daya utama untuk alat yang direncanakan berasal dari jala-jala



Gambar 4 Blok diagram sistem.

listrik PLN yang disearahkan. Penyearahan dilakukan menggunakan dioda jembatan gelombang penuh. Tegangan keluaran rata-rata adalah tegangan rata-rata yang keluar dari penyearah yang besarnya sama dengan dua kali tegangan maksimum dibagi dengan π seperti pada persamaan (1) [7]:

$$V_{rms} = V_m / \sqrt{2} \quad (1)$$

$$V_m = \sqrt{2} V_{rms}$$

Dari Gambar 5 dan persamaan (1) didapat bahwa tegangan sumber yang diterima oleh catu daya adalah $= \sqrt{2} \times 220 = 311,12$ volt DC.

Tegangan sumber akan dikalikan empat menjadi 1.244,48 Volt DC sesuai dengan spesifikasi tegangan beban yaitu 1.000 V sampai dengan 1.500 V. Untuk mengalikan tegangan sumber menjadi empat maka dibutuhkan empat buah kapasitor.

D. Kapasitor Charge Pump

Kapasitor dapat dirangkai dengan beberapa kombinasi hubungan diantaranya hubungan seri, hubungan parallel, dan seri parallel. Setiap kombinasi akan mendapatkan perbedaan nilai kapasitansinya [8]. Untuk menghitung kapasitansi yang digunakan perlu dihitung terlebih dahulu energi yang diperlukan dalam pembebanan. Energi didapat dari hasil perkalian daya beban dan waktu pembebanan.

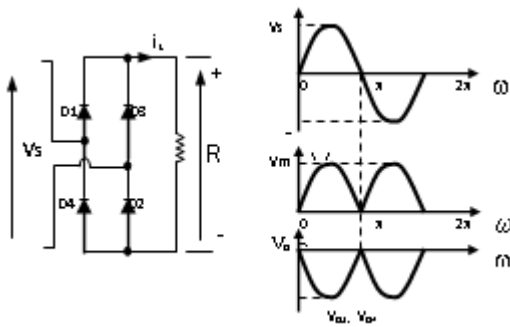
$$Energi = W \times T \quad (2)$$

Dengan W adalah daya beban dan T adalah waktu pembebanan, dapat disimpulkan bahwa energi yang diperlukan untuk mensuplai transducer selama transmisi 10 ms adalah $= 10.000 \times 10^{-2} = 100 \text{ watt det}$. Harga kapasitansi minimum didapat dengan persamaan (3) dan (4):

$$E = \frac{1}{2} QV \quad (3)$$

$$Q = CV \quad (4)$$

Dimana E adalah energi, Q adalah muatan, C adalah kapasitansi pengosongan, dan V adalah tegangan kerja minimum. Ketika persamaan (3) dan persamaan (4) digabungkan maka harga



Gambar 5. Rangkaian penyearah.

kapasitansi minimum untuk catu daya komunikasi bawah air adalah:

$$C_p = \frac{2E}{V^2} F$$

$$C_p = \frac{2 \times 100}{1000^2} F = 0,0002 F = 200 \mu F$$

Pada tulisan ini direncanakan menggunakan empat kapasitor dikarenakan teganan sumber dari PLN akan dinaikkan empat kali lipat, namun pada saat proses pengosongan kapasitor harus tetap berkapasitansi 200 μF (kapasitor dihubung seri).

Kapasitor dihubung seri pada saat pengosongan/pembebanan sehingga kapasitansi setiap kapasitor dapat dihitung dengan persamaan (5) dan (6) [9].

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \quad (5)$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C \quad (6)$$

Ketika persamaan (5) dan persamaan (6) digabungkan maka:

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C}$$

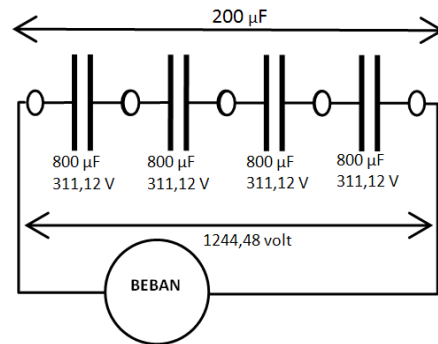
$$\frac{1}{C_p} = \frac{1 + 1 + 1 + 1}{C}$$

$$\frac{1}{C_p} = \frac{4}{C}$$

$$C = 4C_p$$

sehingga: $C = 4 \times 200 \mu F = 800 \mu F$ dimana C_p adalah kapasitor total pengosongan, dan $C = C_1 = C_2 = C_3 = C_4$ adalah kapasitor *charge pump*. Ilustrasi pengosongan kapasitor dapat dilihat pada Gambar 6 dimana terlihat bahwa pada saat pembebanan, kapasitor *charge pump* hanya terhubung ke beban sedangkan catu daya utama dilepaskan dari kapasitor *charge pump*. Pada saat pengisian, kapasitor dihubungkan paralel sehingga perhitungan kapasitansi total pada saat pengisian didapat dilakukan dengan persamaan (7) dan (6) :

$$C_s = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (7)$$



Gambar 6. Pengosongan kapasitor pada saat pembebanan.

Ketika persamaan (7) dan persamaan (6) digabungkan, dimana C_s adalah kapasitor total pengisian, maka $C_s = 4C = 4 \times 800 \mu F = 3.200 \mu F$. Ilustrasi pengisian kapasitor diperlihatkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat dimana pada saat pengisian kapasitor hanya terhubung ke catu daya utama, sedangkan ke bebannya diputus.

Dengan nilai kapasitansi 800 μF , maka ketika dihubung paralel, akan memiliki nilai kapasitansi sebesar 3.200 μF . Sedangkan ketika dihubung seri akan memiliki nilai kapasitansi 200 μF . Terlihat bahwa nilai kapasitansi ketika dihubung paralel berkisar enam belas kali lipat dibanding dengan nilai kapasitansi ketika kapasitor dihubung seri. namun ketika dihubung seri tegangan kerja dari kapasitor akan lebih tinggi empat kali lipat dibanding dengan tegangan kerja kapasitor ketika dihubung paralel.

E. Perhitungan Kapasitor

Setelah diperoleh harga kapasitansi pada saat dihubung paralel dan pada saat dihubung seri, maka selanjutnya perlu dihitung tegangan akhir pada proses pengosongan dan tegangan akhir pada proses pengisian di waktu jeda. Persamaan (8) menunjukkan konstanta waktu RC sedangkan persamaan (9) menunjukkan pengosongan kapasitor untuk perhitungan tegangan akhir pada proses pembebanan.

$$\tau = R \times C \quad (8)$$

$$V_{Cab} = V_{Oc} (e^{-t/\tau}) \quad (9)$$

dimana :

V_{Cab} = nilai akhir setelah pembebanan

V_{Oc} = nilai awal tegangan pada kapasitor

e = nilai euler (2,7182818)

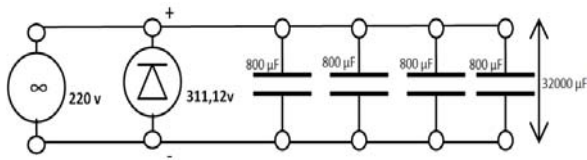
t = waktu dalam satuan detik

τ = konstanta waktu

persamaan (11) merupakan persamaan pengisian kapasitor untuk perhitungan tegangan akhir selama proses *delay*.

$$V_{Cap} = V_{Os} (1 - e^{-t/\tau}) \quad (10)$$

dimana V_{Cap} adalah nilai akhir setelah pengisian dan V_{Os} adalah nilai awal tegangan dari sumber.

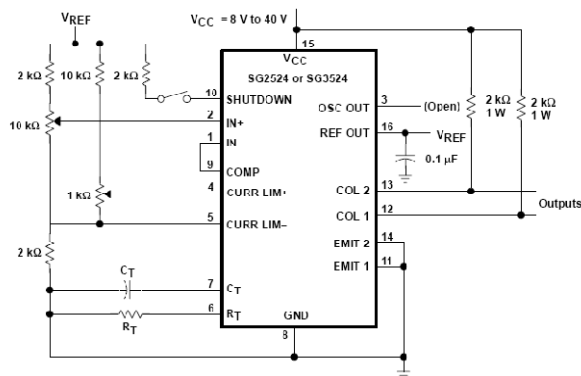
Gambar 7. Pengisian kapasitor *charge pump*.

Dari persamaan (9), pada saat pengosongan kapasitor terjadi penurunan tegangan secara eksponensial. Penurunan tegangan selama pembebanan tidak boleh kurang dari spesifikasi beban. Dari persamaan (8) dengan $C = 200 \mu\text{F}$ dan Resistansi tranduser $R = 100 \text{ Ohm}$, didapat $\tau = 0,0199$. Penurunan tegangan selama 10 ms pembebanan dapat dihitung dengan persamaan (9). Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (9), di atas dimana ketika catu daya mengirimkan tegangan sebesar 1.244,48 V (311.12 V x 4) sesuai dengan permintaan beban selama 10 ms, akan terjadi penurunan tegangan menjadi $= 1.244,48 e^{-0,001/0,0199} = 1.184,05 \text{ V}$, namun penurunan ini masih di dalam area tegangan kerja tranduser.

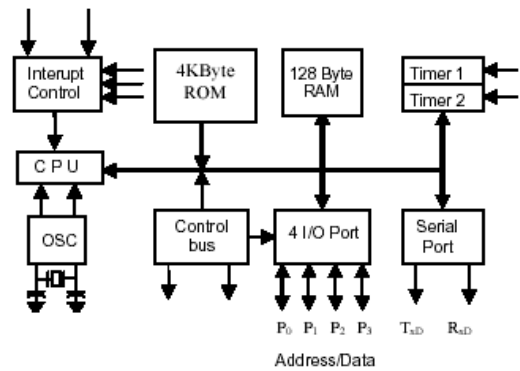
Dari persamaan (10) pada saat pengisian kapasitor terjadi kenaikan tegangan secara eksponensial. Peningkatan tersebut harus diperhitungkan lama waktunya sehingga tegangan kapasitor tidak boleh kurang dari tegangan sumber. Dari persamaan (8) dengan $C = 3.200 \mu\text{F}$ dan Resistansi tranduser $R = 100 \text{ Ohm}$, didapat $\tau = 0,32$. Peningkatan tegangan selama 6,7 detik pengisian dapat dihitung menggunakan persamaan (10) $V_{cap} = 311,12 (1 - e^{-6,7/0,32}) = 311,12 (0,999) = 311,1199 \text{ V}$. Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan pengisian mendekati tegangan sumber, dengan demikian pengisian kapasitor selama 6,7 detik cukup untuk mengisi kapasitor secara penuh.

F. Rangkaian Kontrol Pembangkit Lebar Pulsa

Rangkaian pembangkit pulsa untuk *charge pump* menggunakan rangkaian analog maupun



Gambar 8. rangkaian pembangkit pulsa.



Gambar 9. Diagram blok Mikrokontroler.

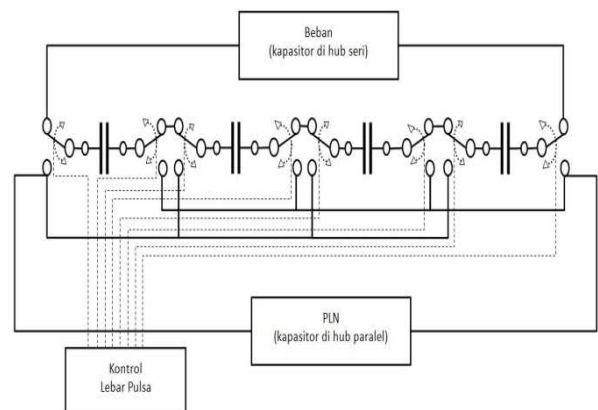
digital (mikrokontroler). Rangkaian pembangkit pulsa analog dapat menggunakan IC PWM SG3524. Keluaran gelombang tegangan PWM SG3524 memiliki kemampuan untuk mengatur lebar pulsa serta mengatur frekuensi keluaran. Lebar pulsa diatur melalui tegangan masukan kaki terminal *In+*, *In-* dan *comp* (Gambar 8), tegangan masukan ini dapat diatur secara manual dengan *variable resistor* melalui terminal *comp*. Frekuensi keluaran dapat diatur melalui *Rt* dan *Ct*. Dari *datasheet*, diperoleh persamaan (11) untuk menentukan frekuensi yaitu [10] :

$$f = 1.3 / (Rt \cdot Ct) \quad (11)$$

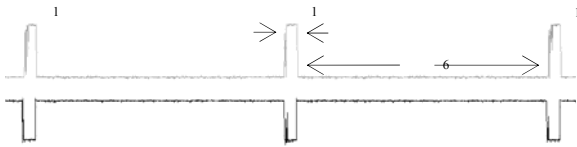
dimana f adalah frekuensi kerja, Rt adalah tahanan osilasi, dan Ct adalah kapasitor osilasi

Selain menggunakan IC SG3524, pembangkitan pulsa juga dapat menggunakan rangkaian mikrokontroler. Mikrokontroler dilengkapi dengan *arithmetic and logic unit* (ALU) sehingga dapat digunakan untuk menangani perhitungan osilasi. Oleh karena itu, pada rangkaian mikrokontroler tidak lagi perlu membuat rangkaian osilasi dikarenakan osilasi dapat dibangun secara perangkat lunak.

Seperti pada Gambar 9, pembangkitan pulsa dapat dikeluarkan melalui port 0 sampai dengan port 3. Sedangkan perhitungan waktu pada mikrokontroler dapat dibantu oleh *register timer*.



Gambar 10. Rangkaian rancangan.



Gambar 11. Bentuk gelombang keluaran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian lengkap dari perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 10. Pada gambar tersebut komponen untuk mengubah hubungan kapasitor paralel dan seri direpresentasikan dengan kontak sakelar *single pole double throw*. Ketika kontak sakelar pada posisi 'atas' maka hubungan kapasitor adalah seri, ketika kontak sakelar pada posisi 'bawah' maka hubungan kapasitor adalah paralel. Gambar 11 menunjukkan gelombang keluaran pada rangkaian penyulutan sebagai *trigger* untuk kapasitor hubungan seri dan paralel. *Timing* tersebut sesuai dengan kebutuhan sistem. Gambar 12 merupakan foto dari rangkaian kontrol catu daya diskrit dengan metode *charge pump* untuk sistem sonar berdaya tinggi. Dengan kapasitor 800 μF (hasil perhitungan), maka pada saat kapasitor dihubungkan paralel dengan 6,7 detik pengisian, kapasitor dapat terisi penuh. Pada saat kapasitor dihubungkan seri dengan 10 mili detik pembebanan, tidak terjadi *drop* tegangan yang melebihi dari spesifikasi beban.

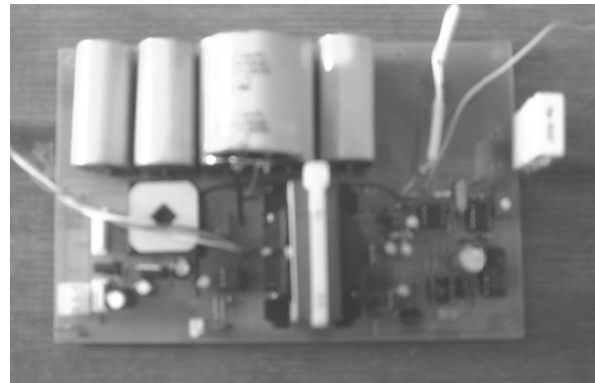
V. KESIMPULAN

Dari beberapa pemaparan diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan:

- Catu daya sonar dapat menggunakan catu daya diskrit dengan *charge pump*
- Peningkatan tegangan dapat dilakukan dengan kombinasi hubungan kapasitor dari paralel ke seri.
- Kecepatan rambat gelombang akustik yang rendah mengakibatkan kualitas informasi penerima ditentukan juga oleh waktu tunda dan kuat sinyal.
- Dengan sistem yang direncanakan, diperoleh daya sesuai dengan kebutuhan sistem namun dengan dimensi dan berat yang minimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan pada penerbit atas kesempatan mempublikasikan hasil penelitian ini. Ucapan yang sama ingin kami sampaikan pada rekan-rekan yang telah memberikan bantuan dalam penelitian ini.



Gambar 12. Foto rangkaian.

REFERENSI

- [1] Ismail Syamsu, Pengembangan Sistem Komunikasi Strategis Menggunakan Sinyal Akustik, Laporan Penelitian PPET-LIPI Bandung : 2008.
- [2] Urick J. Robert, Principles of Under water Sound, 3D Edition McGraw-Hill Book Company, New York : 1983.
- [3] _____, *Professional electronic systems and product* [Online]. Available: http://www.dflsystems.co.uk/sonar_power_supply.htm, diakses tanggal 4 juni 2012
- [4] B. siciliano, O. Khatib, Sonar Sensing, Springer Handbook of Robotics. ISBN 978-3-540-23957-4, 2008
- [5] Fischer, F. A, Fundamental Of Electro-acoustics, Interscience Publisher, Inc, New York, London : 1955.
- [6] Ismail Syamsu, Deni P., "Karakterisasi Elemen Transduser Piezoelektrik Untuk Sistem Komunikasi Bawah Air," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, Vol. 7 No. 2, Juli 2007.
- [7] Kasap, S.O., "Principles of electronics material and devices," McGraw-Hill Book Company, Toronto: 2002.
- [8] C-C. Wang and J-C. Wu, "Efficiency improvement in charge pump circuits," *IEEE Journal of Solid State Circuits*, vol. 32, no. 6 , pp.852-860 June 1997
- [9] Yuda, *Menghitung dan mengukur kapasitor*, [Online]. Available: <http://www.linksukses.com/2011/06/menghitung-dan-mengukur-kapasitor.html>, 2011. Diakses tanggal 5 juni 2012
- [10] _____, SG2524 SG 3524 Regulating Pulse Width Modulators, Texas Instrument, Dallas, 2011